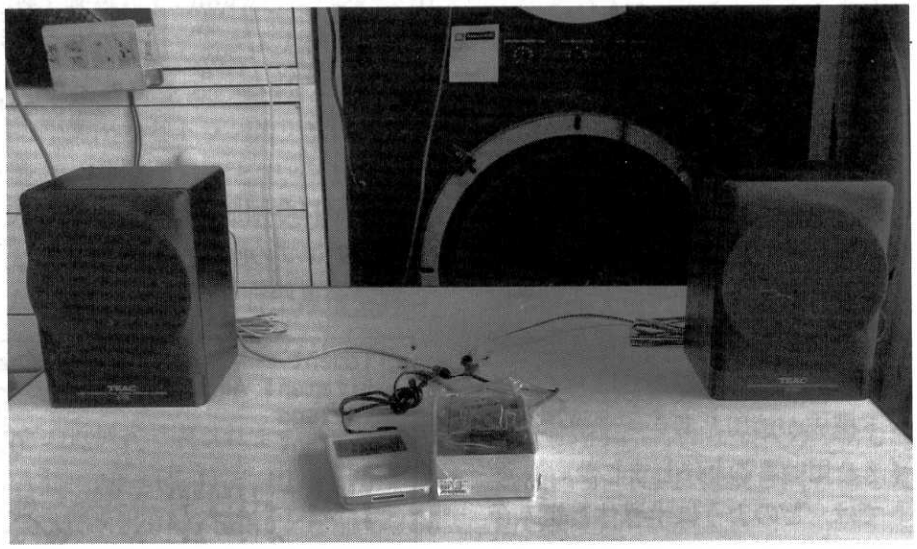
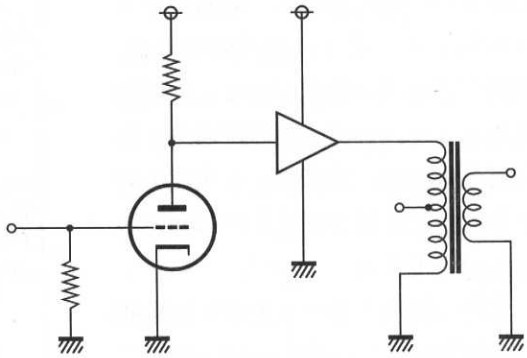
単３電池で使えるモバイル音源用

3A5+オペアンプ出力 携帯ハイブリッド・アンプを作る

池田 敏弘



〈第１図〉
本機の基本構成．初段を３極管としてあえてハーモニクスを出すようにしたのが特徴



モバイル化する音楽再生

音楽ソースの主流が，iPod，ウォークマン，タブレット，モバイルPC，携帯電話，スマートフォンといったデジタル携帯機器になりつつあります．モバイル・パーソナル化されることで，ヘッドホン再生が見直され，ヘッドホンのグレードアップPやヘッドホン・アンプの追加などをされるかたが多く見られます．

そのヘッドホン再生においても，ハーモニクス効果のある心地よい音楽が再生されるヘッドホン・アンプに人気があるようです．もちろん，ヘッドホン再生に止まらず，スピーカ再生でも場所を選ばず，ハーモニクス効果のある音楽が楽しめるならば，いっそうすばらしいことです．

そこで今回，そうしたハーモニクス効果が得られる３極管を用いた携帯アンプを設計製作してみました．

携帯対応とするための工夫

(1) 電池は単３に

まず携帯動作とするには，現在ではニッケル水素のような２次電池駆動が適切と考えます．電池形状としては，小型で容量があり，入手容易なタイプが求められますから，これらを考えると，やはり単３タイプが好ましいでしょう．

真空管を使用するときの第１の課題として，ヒータ点火の問題があります．

(2) 双３極電池管3A5を採用

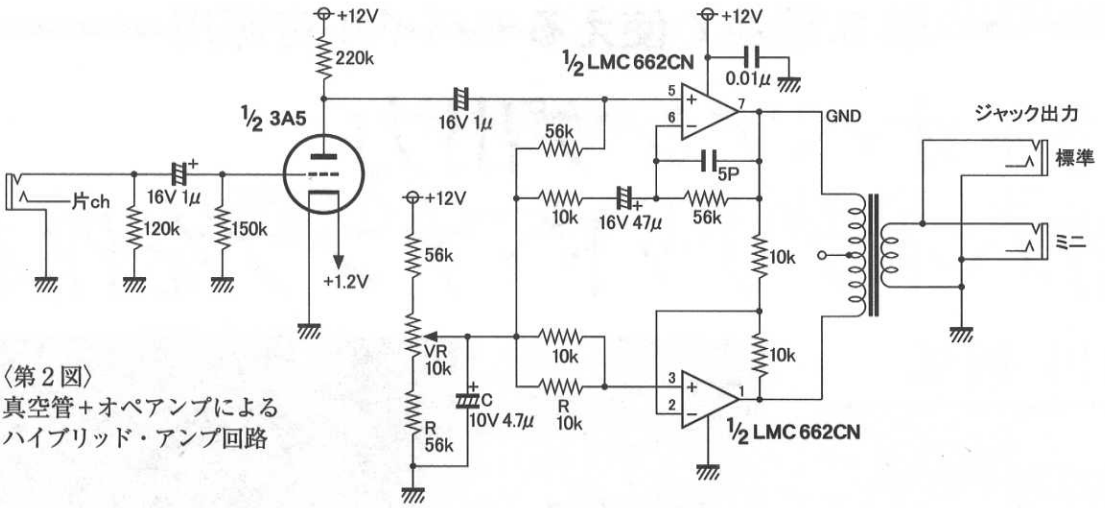
長時間再生を可能とするには，単３電池の電圧をそのまま使用できる真空管を活用することが望ましい，ことになります．そうした点から，本機では電池管を使用することにし，入手しやすさ，扱いやすさから，双３極管3A5を用いた携帯アンプを検討することにしました．

ところで，3A5だけで，ヘッドホンやより低インピーダンスのスピーカをドライブするのは困難ですから，何らかのバッファを設ける必要があります．半導体による電流増幅段，あるいは，インピーダンス変換の出力トランスなどを採用することが考えられます．

ここでは，真空管アンプの音色に近づける観点から，出力トランスを使用することにしました．

(3) ゲインを稼ぐためにオペアンプとハイブリッド化

出力トランスは，ハイ受けロー送りとなりますから，電圧ゲイン的には減衰となります．したがって，トランス以前でゲインを稼ぐ必要があります．また，振幅も大きくとれるような手段を施すのが望ましいと考えます．



〈第2図〉
真空管＋オペアンプによる
ハイブリッド・アンプ回路

ということから，ゲインを稼ぐには何らかの電圧増幅段を設けなければなりません．ハーモニクス効果があるサウンドと省エネ小型とを両立させる意味から，ここではハイブリッド構成が適切と考え，半導体デバイスを用いることにしました．

では，どのように半導体と組み合わせるか，となります．音質，ノイズ特性を考えると，前段が半導体，後段が3極管の構成が好ましい傾向にあります．一方，長時間再生，物理的最大出力，携帯性，小型化を考えると，その逆が好ましい傾向にあると思います．

実際に使用するヘッドホンは低能率の部類のゼンハイザー HD-414 であり，他にも，スピーカ再生を予定していますので，ノイズ特性より長時間再生を優先し，前段を3極管に，後段を半導体の構成とすることにしました．

第1図に，その基本回路図を示します．前段3極管の入出力特性を利用してハーモニクス効果を期待し，後段の半導体でそのサウンドをそのまま味付けすることなく増幅し，出力トランスを介してヘッドホン，あるいはスピーカを駆動する，という構成としました．

回路のあらまし

第2図に今回製作しました携帯式真空管アンプの回路図を示します．

初段の真空管には直熱3極管3A5を使用し，低電圧0バイアス動作とします．ヒータ電圧は，単3電池1個の電圧をそのまま供給する形と

Filament	Coated		
Filament Arrangement	*Series**	*Parallel***	
Voltage	2.8	1.4	d-c volts
Current	0.11	0.22	amp.
Base▲		Miniature Button 7-Pin	
Pin 1 - Filament -		Pin 5 - Grid T_1	
Pin 2 - Plate T_2		Pin 6 - Plate T_1	
Pin 3 - Grid T_2		Pin 7 - Fil.(+ Series)	
Pin 4 - {Fil. Mid-Tap (+ parallel)			
RCA Socket			Stock No.9914
Mounting Position	BOTTOM VIEW (7BC)		Any

For convenience, one triode unit is identified as T_1; the other as T_2.

Maximum Ratings Are Design-Center Values

A-F POWER AMPLIFIER

Plate Voltage	135 max..	volts
Plate Current	5 max.	ma.
Plate Dissipation	0.5 max.	watt
Characteristics - Class A, Amplifier:		
Plate Voltage	90	volts
Grid Voltage	-2.5	volts
Amplification Factor	15	
Plate Resistance	8300	ohms
Transconductance	1800	μmhos
Plate Current	3.7	ma.

R-F POWER AMPLIFIER & OSCILLATOR - Class C Telegraphy

Key-down conditions per tube without modulation

D-C Plate Voltage	135 max.	volts
D-C Grid Voltage	-30 max.	volts
D-C Plate Current (per unit)	15 max.	ma.
D-C Grid Current (per unit)	2.5 max.	ma.
Plate Input (per unit) ●	2.0 max.	watts
Plate Dissipation (per unit)	1.0 max.	watt
Typical Operation At 40 Mc With Both Units In Push-Pull:		
D-C Plate Voltage	135	volts
D-C Grid Voltage ●	-20	volts
	4000	ohms
	570	ohms
Peak R-F Grid-to-Grid Voltage	90	volts
D-C Plate Current	30	ma.
D-C Grid Current (approx.)	5	ma.
Driving Power (approx.)	0.2	watt
Power Output (approx.)	2	watts

*, **, ○, ●, ▲, :see next page.

〈第1表〉本機に使った3A5の主要規格

しています.

3A5の規格・特性を**第1表**に示します. 増幅度が15ほどで, 正バイアス動作が可能な双3極管です.

次段の半導体には, 電圧利用率が高く比較的低負荷にも耐えられるレールtoレール・タイプのOPアンプLMC662CNを使用しました. このLMC662については, 2010年10月号「12V動作6H8C・PPエコアンプ」の中で, 内部回路仕様を含めご紹介していますので, そちらをご参照ください.

LMC662のDCオフセット電圧を決める抵抗群は, 他種OPアンプを使用する場合も考慮し, どのOPアンプでも最大振幅がとれるように半固定VRを設定しました. さらに

低電圧電源ながら大振幅に対応できるよう, 非反転増幅器と反転増幅器による平衡出力増幅段としました.

出力トランスには, 小型でコスト・パフォーマンスの高い橋本電気ST-81 (1kΩ:8Ω) を使用しています. DEGIT製ET-81も使用可能です.

出力トランスは, インピーダンス変換用途だけでなく, 入力位相を合わせるためにも用いています. というのも, 初段の3A5はカソード接地で使用しているので, プレート出力の位相は, アンプ入力信号に対して逆相となっています. LMC662の平衡出力とトランス1次側の接続を逆相接続することで, 2次側出力で入力信号と同相となるようにしています.

携帯アンプのトータルの電圧ゲイン:Aはつぎのようになります. まず, 初段3極管のゲインA1は, つぎの近似式で表されます.

$A1 = (\mu \cdot RL1) / (RL1 + rp)$

$= (15 \times 220k // 56k) / 220k // 56k + 8.3k) = 14.5$

(μ:3A5のμ, RL1::3A5の負荷, rp:3A5のrp)

次段のゲインは, OPアンプに接続された帰還抵抗により決定されます. 非反転増幅器のゲインA1は, つぎの式で表されます.

$A2 = (10k + 56k) / 10k = 6.6$

反転増幅器のゲインは−1となり, 倍となります. PP出力トランスのゲインA3は, インピーダンス比より算出し, A3=0.09とすると, トータル・ゲインAは,

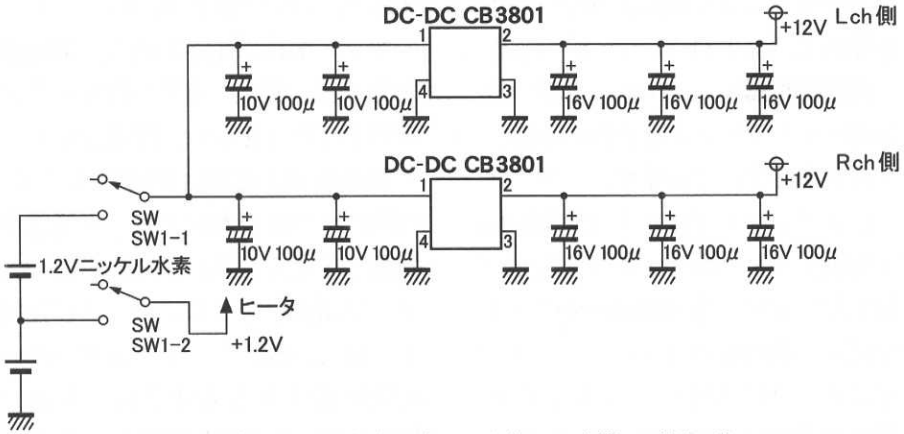
$A = A1 \times A2 \times 2 \times A3 = 17$倍

と算出され, 電圧ゲイン的には, ロス分を考慮しても15倍ぐらいで動作しそうです. これ以上の電圧ゲインをもたせたいときは, 非反転増幅器のNFB抵抗値を大きくします. このときDCオフセット安定のため, 非反転増幅器の非反転入力の信号源抵抗にも, NFB抵抗と同じ値を使用します.

出力用ヘッドホン端子には, HD414用標準端子とミニ・ジャック用端子の2つを装備しました.

電源部回路は**第3図**に示すとおりで, ヒータ電圧は単3電池の電圧そのものとなります. ヒータ電流はステレオで0.22Aと抑え, 長時間使用に耐えられる仕様としています.

B電圧には, DC-DC昇圧モジュール:TDK製CB-3801を用いて+12Vを供給しています. スペック的には, 入力電圧3V以上となっていますが, アルカリ1次電池より電



〈第3図〉ニッケル水素電池2コを使った本機の電源回路

品名	品番	員数	備考	メーカー/販売
IC8Pソケット		2	OPアンプ用	パーツランド
OPアンプ	LMC662CN	2	ディップ	TI/共立電気
MT7Pソケット		1	3A5用	東京真空管
双3極管	3A5	1		東京真空管
抵抗	10k 1/4W	10		KOA
抵抗	56k 1/4W	6		KOA
抵抗	120k 1/4W	2		KOA
抵抗	150k 1/4W	2		KOA
抵抗	220k 1/4W	2		KOA
半固定VR	10k	1		パーツランド
セラミックコンデンサ	50V 5p	2		デジット
セラミックコンデンサ	25V 0.01u	2	OPアンプ用	デジット

品名	品番	員数	備考	メーカー/販売
電解コンデンサ	16V 1u	4	OSコンデンサ	Panasonic
電解コンデンサ	10V 4.7u	2	OSコンデンサ	Panasonic
電解コンデンサ	16V 47u	2	OSコンデンサ	Panasonic
電解コンデンサ	10V 100u	4	OSコンデンサ	Panasonic
電解コンデンサ	16V 100u	6	OSコンデンサ	Panasonic
出力トランス	ST-81	2	ET-81代替可	橋本電気/マルツ電波
ケース	TB-54WG	1	菓子箱代替可	テイシン/共立電気
ステレオミニ端子		2	入力用、出力用	パーツランド
ステレオ標準端子		1	出力用	共立電気
DC-DC	2P	2		TDK/デジット
電源SW	2回路2接点	1	B電圧/ヒーター電圧	共立電気
電池ケース		2	単3電池用	コーナン

〈第2表〉本機の主要部品表

しています．半透明のアクリ板による蓋を準備すると，よりよいと思われます．

狙いどおりのひずみ特性

今回製作した携帯アンプの電圧ゲインは，両ch8Ω負荷でともに15倍強となっています．周波数特性を**第4図**に示します．60Hz～55kHz+0，−3dB以内という特性となっています．

雑音ひずみ率特性を**第5図**に示します．低電圧0バイアス・シングル動作の3A5初段から偶数次ひずみが出ていて，高ひずみ率となっていますが，これは最初に申し上げた狙いどおりといえるでしょう．最大出力は，両ch：8Ω負荷で約50mW+50mWです．

直熱3極管らしい音

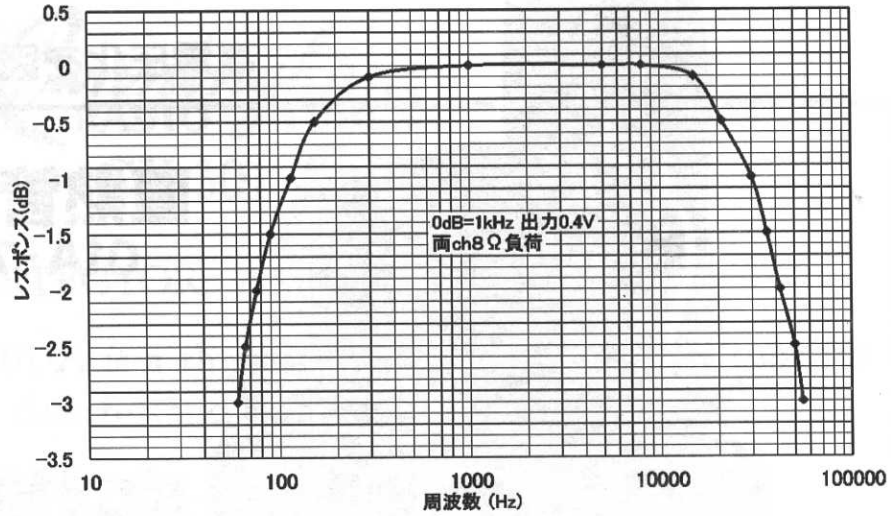
今回の携帯アンプの試聴状況はタイトルの写真をご覧ください．使用した装置はつぎのとおりです．

ソース源はApple iPod，.ヘッドホンはゼンハイザーHD-414，スピーカ・システムはALTEC CD408-8A（20cm同軸，ソニーSS-7090箱入りバスレフ）とALTEC CF204-8A（10cm，TEAC S-70箱入り，後面バスレフ）です．

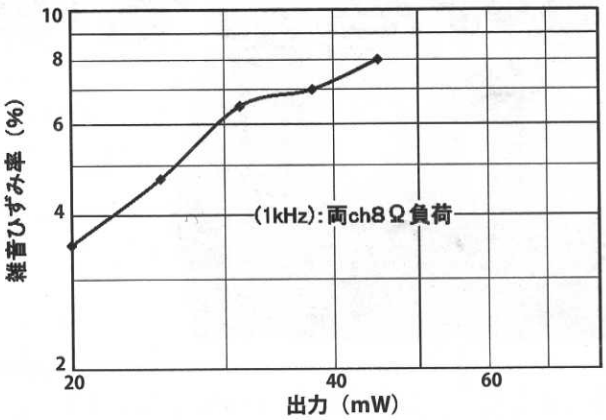
まず，無信号時ですが，高能率スピーカでも試聴位置でのノイズは聴こえません．耳をスピーカ直前に近づけて微かにホワイト・ノイズがわかるレベルです．ヘッドホンですと，わずかにノイズが感じられます．

微小出力のアンプですが，音楽を再生すると，3極管のハーモニクス効果が感じられ，聴感上はパワー感があります．

出力トランスがゼネラル・オーディオ仕様レベル品のせいか，スピーカ再生での超低域の力量やしまり具合にわずかに乏しいものがありますが，一方で2A3のような再生音を思わせる面が見られ，直熱3極管サウンドとなっています．単3電池2個で動作しているとは想像もつかない音です．



▲〈第4図〉
本機の周波数特性



◀〈第5図〉
本機の雑音ひずみ率特性

片手で持てるミニ・アンプの外観と，再生される聴感パワーある音楽とのミスマッチには，自分の目と耳を疑ってしまいます．

ヘッドホンでは，響きのある音楽が楽しめます．各種楽器，ボーカル，バック・コーラスは個々に明確にわかり，全体ではバランスよくまとまった音楽となっています．

高能率のCD408-8Aスピーカでは，最大出力の限界50mW+50mWを感じさせず，一般家庭での音楽鑑賞には十分という聴感パワーです．スピーカ再生でも，個々の楽器が明確にわかり，全体はよくまとまっています．ゼネラル・オーディオ用出力トランスからの音とは，想像つきません．

10cmサイズ・スピーカでは，上記のCD408に比べるとさすがに物足りなさを感じますが，10cmとは思えないほどの再生音です．今日の市販ミニコンポよりはるかに音に厚みがある音楽が楽しめます．このシステムを自作ファンや音楽ファンが集まる大阪日本橋・東京真空管の店に持ち込んで聴いていただき，同じような感想を確認できました．

この3A5携帯アンプは，ハイブリッド構成ながら，直熱3極管特有のハーモニクス効果のある音楽を，場所を選ばず気軽に楽しめる音楽装置といえそうです．本アンプとAltec10cmフルレンジ・システムがあれば，その場はちょっとした音楽コンサート会場に早変わりします．

●ホームページ：http：//www.geocities.jp/seychelle_7/